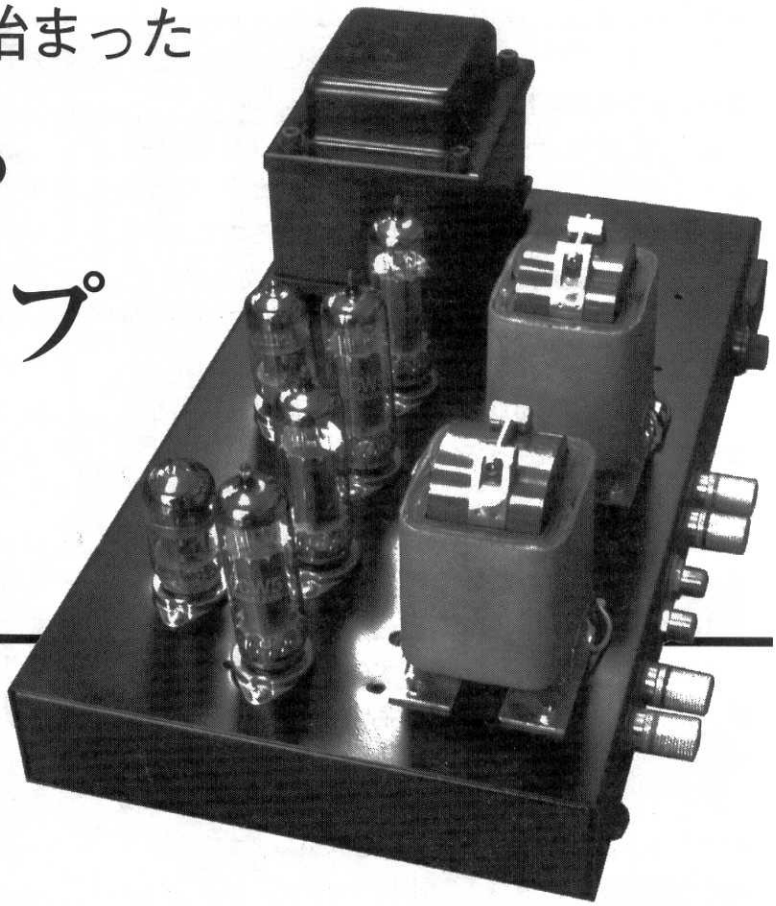
●黒田氏とのコラボで始まった

6CW5SRPP パワー・アンプの試作

塩田 春樹



黒田先生とのコラボレーション

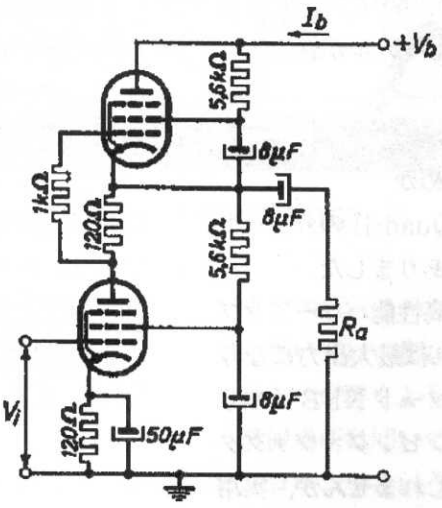
本誌の本年2月号に6EW7を使ったSRPPの実験を報告しましたが，音はさておき物理特性はかならずしも満足できるものではなかったことから，その記事の締め括りに，この実験から得られた知見をもとに改めて初段に6U8，出力段に6CW5を使ったSRPPをやってみようと思う，と記しました．

実際にその前提で試作を始めたのですが，折しも，本誌「実験トランジスタ・アンプ設計講座」を連載しておられ，筆者の敬愛する黒田徹先生が4月号で筆者の6EW7アンプの出力段SRPPの動作解析を，また5月号では，12AX7を使ったSRPPによる電圧増幅段の動作解析を掲載されました．

そこで，詳細は後述しますが，その記事に触発された筆者は初段を6U8から12AX7に変更したうえで，回路定数もその記事そのままをコピーさせていただこうと決め，また出力段についても，先生に6CW5でシミュレーションしていただいて，結果をそのまま製作するという「先生とのコラボレーション」を記事にしたいと先生に提案しました．その結果，快諾をいただきましたので，今月はこの内容を報告したいと思います．

筆者のSRPPに対する認識は，「出力インピーダンスが低いので重い負荷をドライブするには最適だが，PPとは名ばかりで，実質は真空管抵抗を負荷抵抗としたシングル動作」，しかも「3極管によるSRPPは利得が小さい」というものでした．現に2月号では利得不足に悩み，FETを前置せざるを得ませんでした．

ところが，先生は5月号の12AX7のシミュレーションで完全PP動作となる回路定数を見つけられました．「SRPPは重い負荷でも大丈夫」とはいえ，この負荷のインピーダンスをたったの16kΩに設定すればPP動作になるなんて，シングル動



A. Single tone input signal
Signal d'entrée à une fréquence
Einzelton-Aussteuerung

V_b	=	300		V
$R_{a\sim}$	=	1		kΩ
V_i	=	0	0,41	5,4 V_{eff}
I_b	=	66	-	64 mA
W_o	=	0	0,05	4,5 W
d_{tot}	=	-	-	9,3 %

B. Double tone input signal
Signal d'entrée à deux fréquences
Zweiton-Aussteuerung

V_b	=	300		V
$R_{a\sim}$	=	1		kΩ
V_i	=	0	2,7	V_{eff}
I_b	=	66	64	mA
W_o	=	0	5,5	W
d_{tot}	=	-	8,5	%

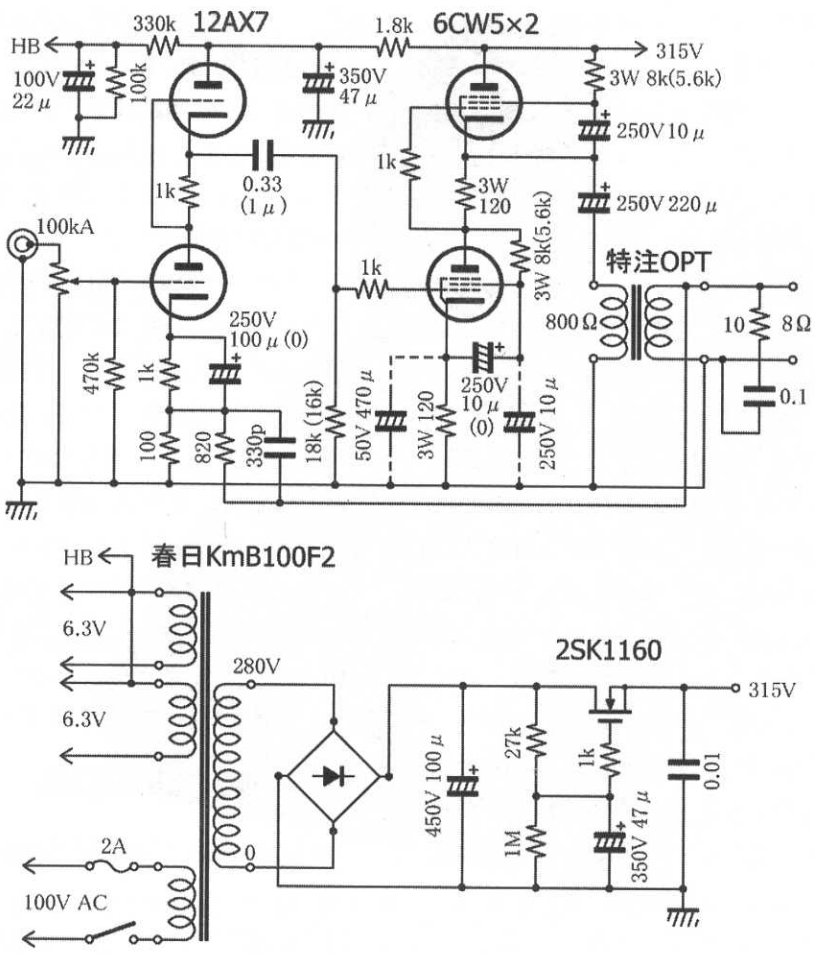
〈第1図〉フィリップスが発表している6CW5SRPPの動作例

力に見合うものかどうかとは無縁の話ですが，こと利得に関しては4Wを得るにはまったく支障がない，というか，むしろ過大でさえあります．こうして出来上がった試作回路のひずみ率を**第2，3図**に示します．

初段，出力段ともにPP動作していて，しかも，初段のひずみ率は記事によると2次ひずみはほとんどなく，3次ひずみ率も0.37%にもかかわらず，アンプ全体としてのひずみ率は決して芳しいものではありません．またNFBをかけると，確かにひずみ率9%弱なら最大出力も4.5Wと動作例とおりですが，現代の基準でいえばどんなに甘く評価しても3W（ひずみ率4%）ですから，思惑はずれといわざるを得ません．期待が大きすぎたといえばそれまでですが，まったく期待を裏切られた感じです．

先生に報告したところ，出力段に電流帰還をかけるとひずみは大きく改善されるとのご返事．なるほど，そのとおりです．しかし，電流帰還をかけると利得は大幅に下がってしまううえ，出力インピーダンスが上昇しダンピング・ファクタ(DF)にもかなり悪影響を与えることが懸念されます．

そこで，利得減少分は初段のカソード抵抗を適当に分割したうえでバイパス・コンデンサを入れればある程度利得アップは図れますし，DF問題はNFBで対処するしかないと考え，試作回路を変更しました．これが**第4図**で，本アンプの最終回路でもあります．(編注：試作時の部品接続を点線で，また定数を（ ）に示してあります)．

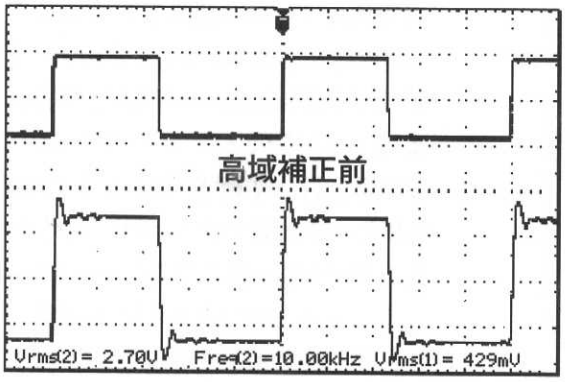


〈第4図〉6CW5SRPPアンプの全回路図．黒田氏オリジナル回路を点線の部品配置と（ ）内数値で示す

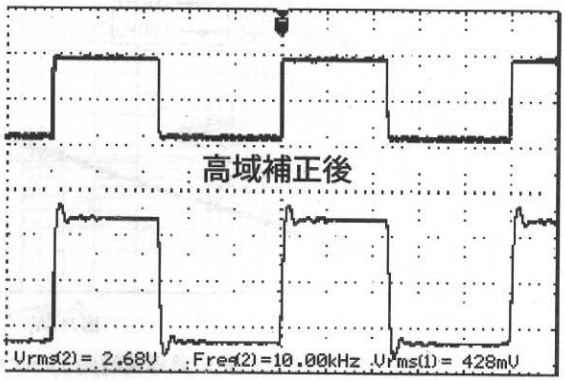
初段のカソード抵抗は1kΩと100Ω に分割し，100ΩをNFBの受け抵抗として，ここにNFBをかけるようにしました．この段の利得は16倍から32倍と倍増しました．

出力段はカソード抵抗にパラに接続されていた電解コンデンサを除去し，スクリーン・グリッドからグラウンドに落とされていた電解コンデンサをカソードに接続しました．また，プレートとスクリーン・グリッド間の5.6kΩを8kΩに変更し，若干の出力アップを図りました．

この結果，出力段の利得は14倍から7倍へと半減しましたが，前段の利得が倍増しましたので，トータルとしての利得はほとんど変化させ



◀《写真1》NFBをかけたときの10kHz方形波応答



《写真2》▶330pFを入れたときの10kHz方形波応答

ておかないと補正がたいへん面倒になりますし，音への影響も問題となります．

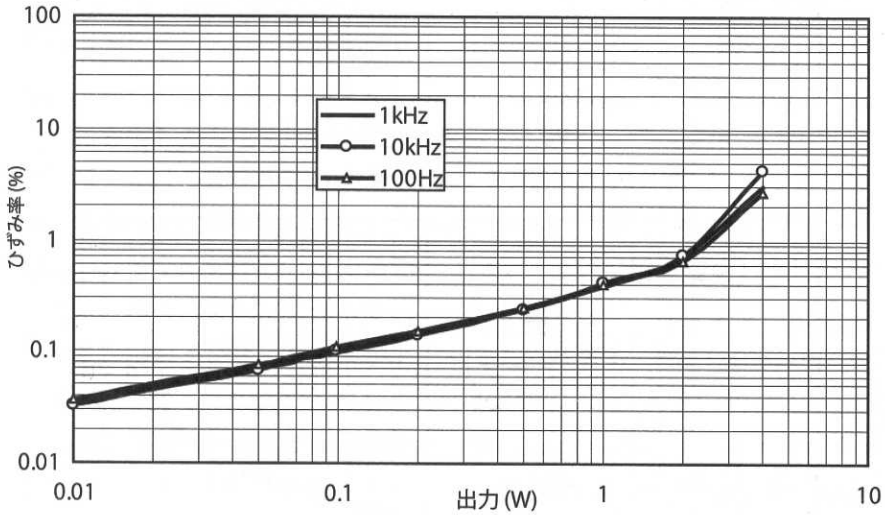
写真1はNFBをかけただけの10kHz方形波応答です．かなりのオーバシュートとリンギングが観察されますが，この状態で135kHzに盛り上がりが出るわけです．330pFをNFB抵抗にパラに入れたときの方形波応答は**写真2**のとおりで，**写真1**からわずかにオーバシュートが小さくなった程度で，あまり変わり映えはしませんが，周波数特性を見ると盛り上がりは0.4dBと無視できるレベルに抑え込むことができますし，音としては明らかに滑らかになることがわかります．

470pFに大きくすると，かなりオーバシュートもリンギングも低減しますが，音に精気がなくなるように感じましたので，330pFに戻しています．

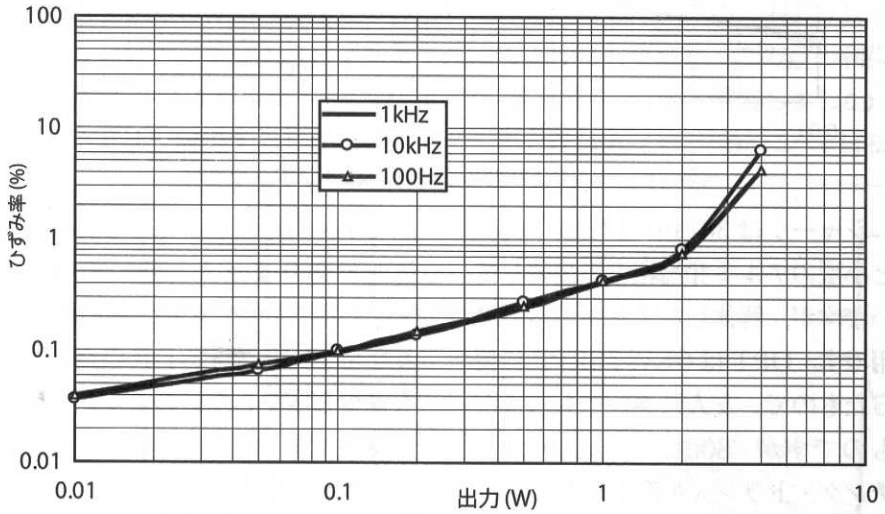
低ひずみだが，出力の小さいのが難点(?)

(1) 周波数特性(第5図)

無帰還では低域の落ち込みが少々大きいことと，高域での盛り上りが気になりますが，10dBのNFBと330pFの補正では低域は完全フラット，高域の盛り上がりも0.4dBとほぼフラットといってもよいレベルです．高域の減衰も滑らかでカットオフは170kHz(Lチャネル)～190kHz(Rチャネル)と広帯域です．



〈第8図〉NFBあり，Lチャネルの周波数別雑音ひずみ率特性



〈第9図〉NFBあり，Rチャネルの周波数別雑音ひずみ率特性

(2) ひずみ率特性と最大出力(第6，7，8，9図)

ひずみ率は若干の回路変更にもかかわらず(見かけの変更はわずかですが，設計的には大幅です)大幅な改善が得られ，たいへん優秀といえそうです．**第2，3図**と較べると1桁近くの改善です．DFさえ問題にしなければ無帰還でも使えそうです(**第6図**．試作時Lチャネルのデータも追記)．左右チャネルのひずみ率も同一機と見紛うばかりに揃っています(**第7図**)．同様に周波数別ひずみ率も，あらゆる周波数域でどの出力域でも左右チャネルともまるで1つのカーブのごとくよく揃っています(**第8，9図**)．

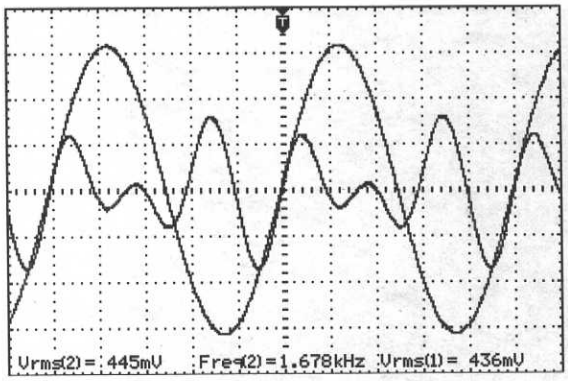
これらから，この回路は極めて安定しており，少々の回路定数のバラツキには極めて鈍感な回路といえそうです．いい換えれば，どなたが製作されてもほとんど同じ性能になるだろうと思われるものです．最大出力は**第8図**からもわかりますが，4Wというところです．設計どおりといえましょう．

(3) ダンピング・ファクタ

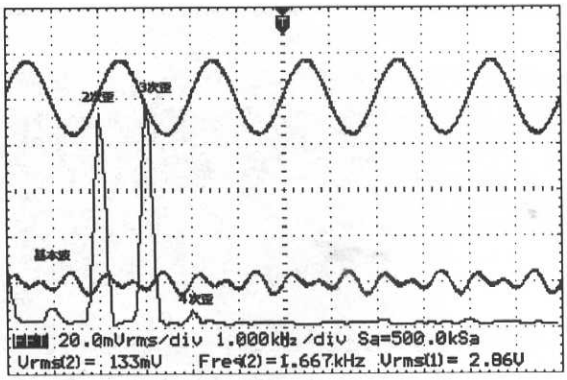
10dBのNFBで左右チャネルとも3.3です．日ごろ慣れたCSPPの10とか13とかに較べると見劣りしますが，ふつうの5極管PPアンプ並みですから，SRPPとしてはこんなものでしょう．前述のとおり，これ以上を求めると副作用の方が大きくなります．アンプ出力との関係やアンプの音色の関係もあるでしょうが，筆者の常用スピーカでは制動不足を感じないレベルです．

(4) 残留雑音

ヒータ・バイアスをかけたご利益はあらたかで，無帰還でも0.12mV，NFB後では筆者の測定環境の下限である0.08mVと極めて優秀です．この程度なら筆者のスピーカの能率93dBでもまったくの無音で



◀《写真3》
1kHzとひずみ波形．3次が大きいが，2次もかなりある



《写真4》▶
上記の波形をFFT解析したもの

す．しかし，検知限にもかかわらず，この数値が小さいほど，音の“クッキリ感”には効いてきます．

(5) クロストーク (第10図)

可聴帯域では−75dB以下に収まっていますし，必要域では−83dBですから，超優秀というわけではありませんが，優秀な部類といえましょう．音の定位にはまったく不満のないレベルです．

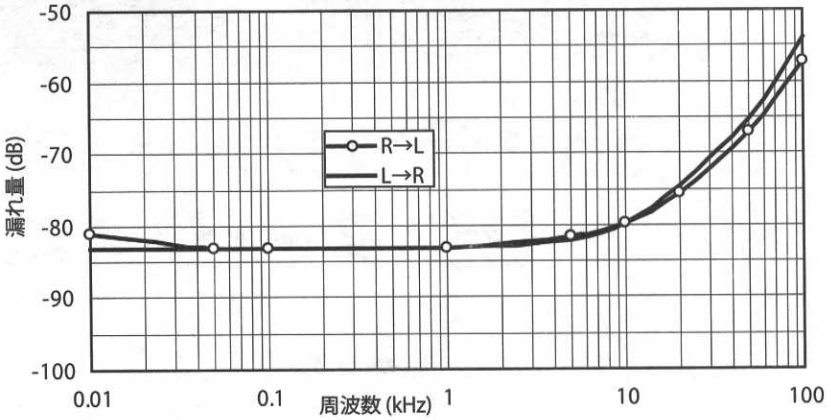
(6) 2次ひずみ多い理由 (写真3, 4)

これだけ低ひずみですと，SRPPがほんとうはどんな動作をしているのか気になるところです．初段は先生のシミュレーションがありますから描くとして，全体としてどうなのか見てみました．

写真3はひずみ率計のモニタ出力，すなわち，ひずみそのものの波形です．3次ひずみをメインとしながらも，2次(偶数次)ひずみもあることがわかります．

写真4はデジタル・オシロの付属機能であるFFT解析機能を使ったフーリエ変換結果です．おまけ的機能なので大雑把なことしかわかりませんが，3次ひずみが最大とはいえ，2次ひずみも負けず劣らず大きいことがわかります．これらから，残念ながら完全なPP動作にはなっていないことが見てとれますが，PPに近いこともわかります．なんとなく頷ける結果です．

躍動感のある音



〈第10図〉本機のクロストーク特性

これはエキサイティングな音ですね．高域補償コンデンサを470pFにすればもう少しおとなしくなりますが，躍動感が犠牲になる感じがします．6EW7のときとは大違いです．あの15KY8Aの音とも違います．6EW7は15KY8Aとはちょっと違いますが，どこか心にすっと入ってくるという点では共通しており，これがSRPPの音かと思わせていたのですが，6CW5はずっと図太いエネルギッシュな音になります．

やっぱりSRPPというのは，理屈はどうあれ，性質はシングル・アンプなんですね．出力管の固有の音が前面に出てくるんです．シングル・アンプのファンには受け入れられやすい音なのではないかと思えます．しかも，シングル・アンプとして見れば優れた物理特性ですから．

ただし，効率という面では少々問題です．6CW5を2本使えば出力20Wも可能なのに，SRPPではプレート電圧を上げたところで5Wが精々です．まぁ，趣味の世界に効率を持ち込むのもどうかとは思いますが，それも程度問題で，これは少々度が過ぎるともいえます．しかし，シングル・アンプの音を物理特性も満足させながら実現する手段としては「あり」なのでしょう．

それにしても，今回は黒田先生にはたいへんお世話になりました．実は先生のお住まいと拙宅は“スープの冷めない距離”にありますので，今回に限らず，いままでもずっとお世話になりっぱなしです．誌上を借りて御礼申し上げます．

CasComp応用回路の発明といい，今回の完全PP動作SRPPの検証といい，先生の飽くなき探究心には頭が下がりますが，それらを無償で使わせてもらえるわれわれも感謝の一言に尽きます．今後もすばらしい回路開発とご指導を願い申し上げるとともに，機会があれば再度のコラボレーションも期待して，今月の報告を終わります．